



Рис. 6. Залежність ступеня десорбції іонів міді (1), цинку (2) та нікелю (3) від питомої витрати 10%-ї H_2SO_4 (cm^3/cm^3) через катіоніт КУ-2-8 в Cu^{2+} , Zn^{2+} та Ni^{2+} – формі ($V_i = 20 cm^3$) при масі сорбованих іонів, мг-екв: 41,74 (1), 42,75 (2) та 42,3 (3).

Експерименти показали досить ефективну регенерацію іоніту 5, 8 та 10%-ю сірчаною кислотою. При 10% H_2SO_4 десорбція іонів металів була найефективнішою, ніж при регенерації 5 та 8%-ю кислотою.

Після отримання регенераційних розчинів сумішей металів доцільно проводити їх електроліз, що є наступним етапом очищення стічних вод, які забруднені важкими металами.

УДК 628.35

ПОВНІ БІОЛОГІЧНІ ЕЛЕКТРОЛІЗНІ ЕЛЕМЕНТИ З МІКРОВОДОРОСТЯМИ В ПРОЦЕСАХ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

Колтишева Д.С., Щурська К.О., Кузьмінський Є.В.

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", м. Київ, dinakoltisheva@gmail.com

За останні роки для світу і України зокрема все більш гостро постає проблема погіршення показників якості води в джерелах водопостачання. Через скид у водойми чи водотоки неочищених або недоочищених стічних вод, які містять біогенні елементи, органічні речовини, ПАР, іони важких металів у кількостях, що перевищують межі допустимих норм, водні об'єкти з часом втрачають здатність до саморегуляції та забруднюються. Це проявляється у евтрофікації водойм, у змінах біологічного різноманіття та в погіршенні якості води.

Традиційно в Україні та ряді інших країн стічні води багаті на органічні сполуки очищують за допомогою технологій, що мають біологічні стадії очищення в аеротенках або у біофільтрах. Однак при експлуатації таких біологічних споруд необхідні витрати на аерацію, обробку надлишкового активного мулу [1].

Раніше було показано, що біологічні паливні елементи (БПЕ) здатні очищувати стічні води, продукуючи енергоносії - водень, а біологічні електролізні елементи (БЕЕ) здатні генерувати струм. При цьому в анодній камері при застосуванні в якості інокуляту активного мулу відбувається деструкція органічних сполук [2]. Труднощі, які виникають при впровадженні БЕЕ- або БПЕ-технологій, пов'язані із необхідністю використання високовартісних платинових або оброблених платиною електродів або застосуванням каталізаторів, наприклад, фероціанід в катодній камері, які спричиняють вторинне забруднення

води. Як вирішення цієї проблеми пропонується використання біокатодів, які містять мікроводорості.

Наявні 3 основні варіації застосування мікроводоростей в БЕЕ-технологіях: як живлення для анодної камери, як донор електронів на аноді, як продуцент кисню на катоді [3]. Також пропонуються гібридні технології: поєднання катодної камери з біореактором, в якому вирощуються мікроводорості, і після нарощення біомаси - перекачуються з біокатода в трубчастий біореактор. Для зниження вмісту вуглекислого газу в анодній камері та зменшення витрат на барботування вуглекислим газом катодної камери поєднують катодну і анодну камери трубою. Використання нарощеної біомаси в катодній камері можливе або в якості добавки до стічних вод в анодну камеру (служать джерелом солей, вітамінів на інших поживних речовин) або для подальшої переробки на біопаливо (в стресових умовах БЕЕ мікроводорості накопичують ліпіди).

Метою роботи є представлення перспектив повних БЕЕ з мікроводоростями в процесах очищення стічних вод.

Існують різні конфігурації БЕЕ з біокатодом водоростей, однак двокамерні є найбільш перспективними з точки зору можливості очищення стічних вод, нарощування біомаси мікроводоростей та генерації електричної енергії. Завдяки фотосинтетичному утворенню кисню мікроводоростями знижуються витрати на аерацію катодної камери БЕЕ, а сполучення камер трубою, по якій перекачують утворений на аноді CO_2 , дозволяє знизити викиди вуглекислоти.

Сполуки Нітрогену та Фосфору в стічній воді є сприятливими для розвитку мікроводоростей. Зростання біомаси мікроводоростей в катодній камері та збільшення вмісту ліпідів, пов'язують зі стресовими умовами. Таким чином БЕЕ з мікроводоростями на біокатоді уявляє собою сталу систему, яка дозволяє отримувати зі стічних вод електричну енергію та біопаливо.

Використання протонобмінних мембран PBI та Sterion, які не поступаються Nafion, кераміки або ж безмембранних технологій дозволяють знизити витрати на конструювання БЕЕ.

На функціонування БЕЕ з мікроводоростям на біокатоді найбільший вплив мають освітлення (періодичність, інтенсивність, довжина хвилі світла), поживні речовини, рН, матеріал з якого виготовлені електроди. Wu та колеги показали, що більш ефективно мікроводорості працюють в БЕЕ при періодичному освітленні [4].

В якості електродів для біокатодів широко використовуються вуглецеві матеріали (вуглецеве волокно, вуглецева тканина, папір вуглецевий тощо), для збільшення ефективності використовують їх модифікації (титанове, платинове покриття) [6]. Потужність повних БЕЕ, катод яких вкритий платиною, мають вихідні значення потужності майже в 10 разів вищі за ті, що не вкриті 1200 мВт/м^3 проти 170 мВт/м^3 відповідно. Дослідження повних БЕЕ направлені на одночасне здешевлення технології без втрати ефективності. Під час вибору матеріалів електроду необхідно враховувати здатність мікроводоростей спричиняти біокорозію металів та заростання електродів, які призводять до збоїв використання БЕЕ [5].

Таблиця Характеристики повних БЕЕ з мікроводоростями

№	Анод:матеріал/ мікроорганізми	Катод: матеріал/ мікроорганізми	Сила струму чи напруга	Потужність, мВт/м^2	Конфігурація	Наявність і тип мембрани
1	Вуглецеве волокно/активний анаеробний мул	Вуглецеве волокно/консорціум зелених водоростей, ціанобактерій та бактерій	29,6 мА/м^2	4,7	Двокамерний, катодна камера поєднана з біореактором	Кераміка [5]
2	Вуглецева тканина/активний мул	Вуглецева тканина/ <i>Scenedesmus acutus</i> PVUW12	0,7 А/м^3	1,3	Двокамерний, додатково поєднані	Модифіко- ваний полібензи-

					силіконовою трубкою яка передає утворений CO ₂ на катод	мідазол (PBI) [6]
3	Відновлений оксид графену/ <i>Synechococcus elongates</i>	Скляний катод з платиновим покриттям	3,622 мА/м ²	0,520	Однокамерний	Відсутня [7]
4	Вуглецева тканина переплетена титановим дротом/активний мул	Вуглецева тканина переплетена титановим дротом/ <i>Scenedesmus quadricauda</i> SDEC-8	240 мА/м ²	62,93	Двокамерний розділений оргсклом	Відсутня [8]
5	Вуглецева тканина покрита тефлоном/активний мул	Вуглецева тканина покрита тефлоном/ <i>Chlorella vulgaris</i>	9 мВ	-	Двокамерний	Протон-обмінна мембрана Sterion [9]

Проведений аналіз існуючих технологій повних БЕЕ з мікрководrostями демонструє широкі можливості їх використання та комбінацій. Альтернативне використання вуглецевих матеріалів катоду замість платини, розширення вибору мембран, а також перспективне використання нарощеної біомаси мікробіодоростей робить БЕЕ більш привабливим для впровадження в технологіях очищення стічних вод.

1. Кузьмінський Є.В. Пріоритетні напрями розвитку екобіотехнології. 1. Природоохоронні біотехнології / Є. В. Кузьмінський, К. О. Щурська // Innov Biosyst Bioeng. – 2018. – №1. – С. 22–32.

2. Щурська К. О. Біоелектрохімічне генерування водню в мікробному паливному елементі. 3. Експериментальна частина / К. О. Щурська, Є. В. Кузьмінський. // Відновлювана енергетика. – 2012. – №1. – С. 67–77.

3. Gude V. G. Wastewater treatment in microbial fuel cells - an overview / V. G. Gude. // Journal of Cleaner Production. – 2016. – №122. – С. pp.287–307

4. Construction and operation of microbial fuel cell with *Chlorella vulgaris* biocathode for electricity generation / [X. Wu, T. Song, X. Zhu та ін.]. // Appl Biochem Biotechnol. – 2013. – №171. – С. 2082–2092.

5. Self-sustainable electricity production from algae grown in a microbial fuel cell system / I.Gajda, J. Greenman, C. Melhuish, I. Ieropoulos. // Biomass and Bioenergy. – 2015. – №82. – С. 87–93.

6. Photosynthetic microbial fuel cell with polybenzimidazole membrane: synergy between bacteria and algae for wastewater removal and biorefinery / [S. Angioni, L. Millia, P. Mustarelli та ін.]. // Heliyon. – 2018. – №4. – С. e00560.

7. Algal biophotovoltaic (BPV) device for generation of bioelectricity using *Synechococcus elongatus* (Cyanophyta) / [F. Ng, S. Phang, V. Periasamy та ін.]. // Journal of Applied Phycology. – 2018. – №30. – С. 2981–2988.

8. Algal biofilm-assisted microbial fuel cell to enhance domestic wastewater treatment: Nutrient, organics removal and bioenergy production / [Z. Yang, Q. Hou, H. Pei та ін.]. // The Chemical Engineering Journal. – 2018. – №332. – С. 277–285.

9. Cathodic optimization of a MFC for energy recovery from industrial wastewater / [A. González, P. Cañizares, J. Lobato та ін.]. // Chemical Engineering Transactions. – 2014. – №41. – С. 145–150.